

PCT

ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE  
Bureau international



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

|  |           |  |
|--|-----------|--|
| <p>(51) Classification internationale des brevets<sup>4</sup> :<br/>G01B 11/00, 11/24, G05B 19/42<br/>G05B 19/403, B23Q 35/128</p>   | <p>A1</p> | <p>(11) Numéro de publication internationale: WO 89/ 09378</p>   |
|  |           | <p>(43) Date de publication internationale: 5 octobre 1989 (05.10.89)</p>  |
| <p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR89/00143</p> <p>(22) Date de dépôt international: 24 mars 1989 (24.03.89)</p> <p>(31) Numéro de la demande prioritaire: 88/03991</p> <p>(32) Date de priorité: 25 mars 1988 (25.03.88)</p> <p>(33) Pays de priorité: FR</p> <p>(71) Déposant (JP seulement): KREON INGENIERIE MARKETING [FR/FR]; Route des Usines, F-65300 Lannemezan (FR).</p> <p>(72) Inventeur; et<br/>(75) Inventeur/Déposant (US seulement) : EVERAERE, Michel [FR/FR]; Lotissement du Bois-Pinas, F-65300 Lannemezan (FR).</p> <p>(74) Mandataire: RINUUY, SANTARELLI; 14, avenue de la Grande-Armée, F-75017 Paris (FR).</p> |           | <p>(81) Etats désignés: JP, US.</p> <p>Publiée<br/>Avec rapport de recherche internationale.<br/>Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont reçues.</p> |

(54) Title: PROCESS FOR DETERMINING AND RECONSTITUTING SPECIAL COORDINATES OF EACH POINT OF A SET OF POINTS CHARACTERIZING A TRIDIMENSIONAL SURFACE, AND PROCESS FOR PRODUCING A TRIDIMENSIONAL IMAGE OF SAID SURFACE FROM THESE COORDINATES

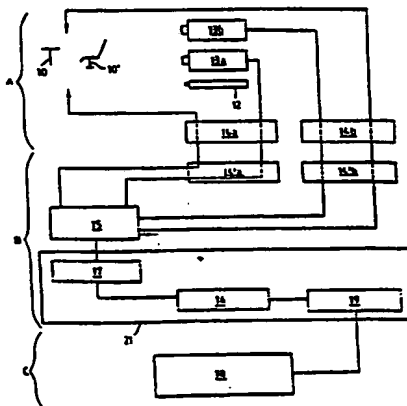
(54) Titre: PROCÉDE DE DETERMINATION ET DE RECONSTITUTION DES COORDONNÉES SPATIALES DE CHACUN DES POINTS D'UN ENSEMBLE DE POINTS ÉCHANTILLONNANT UNE SURFACE TRIDIMENSIONNELLE, ET PROCÉDE DE RÉALISATION D'UNE IMAGE TRIDIMENSIONNELLE DE CETTE SURFACE À PARTIR DESDITES COORDONNÉES

(57) Abstract

The process described is applicable in particular to video-sculpture. Cameras (13a, 13b) and video-recorders (14a, 14b) record a series of images of the tridimensional surface, illuminated by a planar beam of laser light generated by a laser (12). The process comprises a phase involving passage from the coordinates of the image points recorded by the vision system to the special coordinates produced by the module (17), a phase involving reconstitution of any points which may be badly recorded by the vision system, processing by the module (16) and a phase involving determination of the axis of a tool (18) sculpturing the tridimensional image in a material such as wood or aluminium, the latter phase being implemented by the module (19).

(57) Abrégé

Le procédé est notamment applicable à la vidéo sculpture. On enregistre au moyen de caméras (13a, 13b) et de magnétoscopes (14a, 14b) une série d'images de la surface tridimensionnelle éclairée par un faisceau plan de lumière laser généré par un laser (12). Le procédé comporte une phase de passage des coordonnées des points images enregistrés par le système de vision aux coordonnées spatiales mise en œuvre par le module (17), une phase de reconstitution des points éventuellement mal enregistrés par le système de vision, mise en œuvre par le module (16) et une phase de détermination de l'axe d'un outil (18) sculptant l'image tridimensionnelle dans une matière telle que du bois ou de l'aluminium, cette dernière phase étant mise en œuvre par le module (19).



BEST AVAILABLE COPY

5 Procédé de détermination et de reconstitution des  
coordonnées spatiales de chacun des points d'un ensemble  
de points échantillonnant une surface tridimensionnelle,  
et procédé de réalisation d'une image tridimensionnelle  
de cette surface à partir desdites coordonnées.

La présente invention concerne, d'une manière générale, le problème de la réalisation d'une image trimensionnelle d'une surface quelconque à partir d'images bi-dimensionnelles de ladite surface. Elle trouve une application importante, mais non exclusive, dans le domaine de la "vidéo sculpture".

15 L'invention vise notamment un procédé de détermination des coordonnées spatiales de chacun d'un ensemble de points appartenant à ladite surface trimensionnelle et échantillonnant cette dernière, à partir desdites images préenregistrées. Grâce aux données procurées ainsi, l'invention permet une commande optimale d'une machine-outil à commande numérique pour usiner ladite image tridimensionnelle dans un matériau, dans le cadre de son application à la "vidéo sculpture".

20 On connaît un tel procédé permettant, dans l'art antérieur, de réaliser l'image tridimensionnelle d'un buste à partir d'une série d'images vidéo. Le sujet est assis sur un fauteuil tournant et son buste est éclairé au moyen d'un laser fournissant un faisceau plat lamellaire. L'intersection du faisceau plat avec le buste du sujet donne une courbe (ou profil) que l'on échantillonne, les coordonnées spatiales des points source des échantillons étant déterminées au moyen d'un procédé de type connu, tel que celui enseigné dans le brevet français 81.24418. Le

tinuité. Ces points "manquants" correspondent aux points de buste présentant un faible albédo.

A l'inverse, des points de fort albédo peuvent réfléchir la lumière de façon très forte et diffractent la lumière sur d'autres parties du buste, la trace enregistrée n'étant pas continue et comportant en fait divers points extérieurs à la trace normale. Il s'agit dans un tel cas de points que l'on qualifie "d'aberrants".

Dans l'un et l'autre cas, l'usinage, sous le contrôle de la CFAO, manque de précision, ce qui génère des erreurs préjudiciables pour la qualité du produit fini.

Une autre série d'inconvénients est également due au fait que le procédé utilisé pour déterminer les coordonnées spatiales à partir des coordonnées des points image enregistrés par la vidéo, fait appel à des formules trigonométriques telles que celles décrites dans le brevet 81.24418 mentionné plus haut. Il s'ensuit un manque de précision. Il est donc souhaitable de disposer d'un procédé de détermination des coordonnées spatiales des points considérés, plus précis et plus fiable.

Par ailleurs, la Demanderesse a constaté qu'il était souhaitable d'orienter l'outil de telle sorte qu'il attaque la matière sous un angle correspondant à la normale à la surface devant être réalisée, ce qui permet d'obtenir un meilleur fini et un meilleur rendu de la pièce. L'art antérieur ne prévoit pas une telle hypothèse puisque la machine qui est utilisée n'est commandée que selon trois degrés de liberté, ce qui ne permet que de positionner de façon correcte la fraise attaquant la matière, mais ne permet pas de positionner l'angle d'attaque de cette fraise par rapport à la matière. Il est donc souhaitable de disposer d'un procédé permettant de commander et de contrôler autant que possible l'angle d'attaque de l'outil par rapport à la matière.

Enfin, la Demanderesse a constaté que dans

caméra, procédé caractérisé en ce que, mettant en oeuvre les considérations suivant lesquelles :

- dans le plan du faisceau lumineux, on choisit un axe directeur et on affecte des coordonnées dites "spatiales" (R,H), à chaque point dudit plan, R étant la distance entre le point considéré et l'axe directeur, H étant l'ordonnée de ce point sur cet axe ;

- on prend en compte les formules suivantes de transformation des coordonnées (Col,Lig) de chacun des points du plan image de la caméra en coordonnées spatiales (R, H) du point source correspondant :

$$(1) \quad R = \frac{\alpha_1 \text{Lig} + \alpha_2 \text{Col} + \alpha_3}{\alpha_7 \text{Lig} + \alpha_8 \text{Col} + 1} \quad H = \frac{\alpha_4 \text{Lig} + \alpha_5 \text{Col} + \alpha_6}{\alpha_7 \text{Lig} + \alpha_8 \text{Col} + 1}$$

les coefficients  $\alpha_i$  étant dits "coefficients de transformation" et étant déterminés pour l'ensemble des points du plan image de ladite caméra, à partir de coefficients dits "d'interpolation" ( $\beta_{ij}$ ) eux-mêmes calculés lors d'une phase préalable de calibration du plan image de la caméra au cours de laquelle :

. on enregistre l'image de séries juxtaposées de quatre points source de référence situés dans le plan de la lumière et dont les coordonnées spatiales (R, H) dans ce plan sont connues ; on relève les coordonnées images (Col,Lig) de l'image de chacun de ces points pour chaque série de quatre points source de référence et on résout la formule de transformation (1), ce qui donne huit valeurs de coefficients de transformation  $\alpha_i$  par série de quatre points de référence ; on considère le barycentre de chacune des séries de quatre points de référence et on affecte à ce dernier les coefficients de transformation

calcule les coordonnées moyennes de ces points, si le point traité est absent, ou si l'une au moins de ses coordonnées diffère de la coordonnée moyenne correspondante d'un écart supérieur à une valeur prédéterminée (E), on affecte au point traité lesdites coordonnées moyennes.

5 Ainsi, grâce à ces dispositions, on dispose d'une méthode fiable et précise pour déterminer et/ou reconstituer les coordonnées spatiales d'un ensemble de points à partir de leurs coordonnées dans le plan image de la caméra.

10 De plus, grâce à la phase d'homogénéisation, on pallie les inconvénients liés aux points de faible ou de trop forte albédo sur la surface à reproduire.

La présente invention vise également un procédé de vidéo sculpture, notamment du type tel que succinctement  
15 rappelé ci-dessus, pouvant, avantageusement, mettre en oeuvre le procédé de détermination et/ou de reconstitution des coordonnées spatiales énoncé ci-dessus, notamment caractérisé en ce qu'il met en oeuvre une machine-outil  
20 adaptée à commander un outil selon cinq degrés de liberté, à savoir trois degrés de liberté permettant le positionnement de cet outil dans l'espace, compte tenu desdites coordonnées spatiales et deux degrés de liberté déterminant un angle d'attaque de l'outil de telle sorte que l'outil  
25 soit généralement dirigé selon la normale à la surface devant être réalisée et en ce que l'on procède à une détection des parties concaves de la surface, pour corriger l'angle d'attaque de l'outil pour éviter autant que possible une interaction entre l'outil et la matière  
30 usinée, au cours de laquelle :

- on considère la trace laissée par ladite surface dans un plan perpendiculaire à un axe directeur et passant par le point en cours de traitement ( $P_i, n$ ), cette trace étant dite sécante ( $S_i$ ),

35

- on considère également un profil source  $\theta_n$

chacune des traces sécantes ( $S_i$ ) et on associe à chacun des points traités ( $R_i, H_i, \theta_n$ ) un vecteur correspondant soit à la normale à ladite trace sécante  $S_i$  au point traité  $\overrightarrow{SN}^{\theta_n, i}$ , soit à un vecteur somme,  $(\overrightarrow{ES}^{\theta_n, i})$  des vecteurs effectivement associés aux points voisins ( $R_i, H_i, \theta_{n-1}$ ) ( $R_i, H_i, \theta_{n+1}$ ) au point traité ( $R_i, H_i, \theta_n$ ).

10 et, pour chaque point, on dirige l'outil selon la direction des vecteurs effectivement associés audit point, dans la place de son profil ( $\theta_n$ ) et dans celui de la trace sécante ( $S_i$ ) à laquelle il appartient.

Grâce à ces dispositions, on contrôle de façon optimale l'outil, tout en évitant, de façon automatique le plus souvent, toute interférence entre l'outil et la matière.

Les caractéristiques et avantages ressortiront d'ailleurs de la description qui va suivre en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique des moyens mettant en oeuvre un procédé de vidéo sculpture conforme à l'invention,
- la figure 2 est une vue schématique illustrant la position relative du laser et des caméras illustrés en figure 1,
- les figures 2a et 2b illustrent une variante de réalisation,
- la figure 3 est une vue schématique d'une surface tridimensionnelle à reproduire,
- la figure 4 illustre, de façon schématique, un profil image tel qu'enregistré par chacune des caméras de la figure 1,
- la figure 5 illustre le profil source correspondant au profil image de la figure 4,
- la figure 6 est une vue schématique d'une mire de calibration du système de vision,

d'une machine-outil 18.

L'acquisition de l'information se fait en plaçant l'objet à copier sur une table 10 ou le sujet dont on désire modeler le buste sur un siège 10'. La table 10 et le siège 10' sont rotatifs et entraînés à cet effet par un 5 moteur pas à pas non représenté. Le sujet ou l'objet sont éclairés au moyen d'un laser 12. Dans le mode de réalisation choisi et représenté, un seul laser éclaire le sujet ou l'objet. Deux caméras 13a, 13b filment l'objet ou le 10 sujet alors que la table 10 ou le siège 10' effectue un tour complet. Les pas angulaires de la table ou du siège sont ici de 1° en sorte que deux magnétoscopes 14a, 14b respectivement raccordés aux caméras 13a, 13b enregistrent ainsi chacun 360 images p de l'objet ou du sujet éclairé 15 par le laser 12 (voir figure 3).

Sur la figure 3, on a illustré un sujet 20 et deux traces p laissées par le laser 12. Le double système d'acquisition des données 13a, 14a et 13b, 14b enregistre ainsi une pluralité de traces ou "profils" p réalisant, de 20 ce fait, un échantillonnage de l'image de l'ensemble de la surface du buste 20 du sujet.

Avant de poursuivre la présente description, il est donné les définitions suivantes :

- 25 - "point source" : point appartenant à la surface extérieure de l'objet ou du sujet que l'on veut reproduire,
- "profil source" : trace p laissée par le laser sur le buste 20 ou l'objet à reproduire,
- 30 - "point image" : image d'un point source enregistré par la caméra 13a et/ou la caméra 13b, dans un "plan image" appartenant à la caméra considérée. Le point image est caractérisé par ses coordonnées (Col,Lig) dans le 35 plan image ainsi qu'il ressortira du reste de

sa périphérie.

Cependant, une telle disposition n'est pas impérative. En effet, au lieu de placer l'objet à reproduire sur un plateau tournant, on pourra, par exemple, le  
5 disposer sur un plateau animé d'un mouvement de translation de telle sorte que les traces seront alors parallèles entre elles et parallèles à un axe directeur solidaire de l'objet, cet axe se déplaçant parallèlement à lui-même. Ce  
10 pourra être le cas lorsque l'objet à reproduire est par exemple une carte en relief dont la représentation mathématique est de la forme :  $z = f(x, y)$  et dont seule une face est à reproduire. En revanche, lorsque l'objet doit être reproduit dans son ensemble, on utilisera le  
procédé du plateau tournant décrit plus haut.

15 A propos du mode de réalisation illustré, on notera par ailleurs que, avantageusement, compte tenu de la forme de l'objet, ou de la morphologie du sujet, il est possible de paramétrer les déplacements angulaires pour obtenir plus d'images sur les zones de l'objet du sujet  
20 dont la surface est sujette à de brusques variations (par exemple le nez du sujet) et moins d'images dans les zones où la surface est plus régulière (par exemple, la nuque du sujet).

Dans l'exemple illustré, les données sont  
25 enregistrées sur un premier ensemble de magnétoscopes 14a, 14b, un autre ensemble de magnétoscopes 14'a, 14'b étant utilisé pour le traitement de l'information. Ceci permet de décentraliser la phase de traitement par rapport à celle d'acquisition.

30 En figure 2a, il est illustré une variante de réalisation de l'ensemble d'acquisition de données mettant en oeuvre une seule caméra 13c et deux lasers 12a, 12b. Cette figure illustre schématiquement la disposition relative des deux lasers et de la caméra. L'ensemble est vu  
35 du dessus, la tête du sujet portant aussi la référence 20.



décalage complique sensiblement le traitement et, d'autre part, les contraintes mécaniques sont telles que le profil  $p'$  (figure 2a) ne coïncide pas parfaitement avec le profil  $p$  (figure 2b) une fois que la tête a pivoté de  $60^\circ$  : en effet, le sujet est incapable de rester parfaitement immobile pendant ce temps. C'est pourquoi, en définitive, le Demanderesse a préféré mettre en oeuvre le mode de réalisation décrit à l'appui des figures 1 et 2. Cependant, la variante illustrée à l'appui des figures 2a et 2b

10 démontre qu'il existe divers procédés permettant d'enregistrer l'ensemble de la surface à reproduire, y compris les parties cachées. Aussi, la présente invention englobe-t-elle à cet égard toutes variantes susceptibles d'arriver à ce résultat.

15 Le signal analogique issu des caméras 13a, 13b enregistré dans les magnétoscopes 14a, 14b et délivré par les magnétoscopes 14'a, 14'b se présente sous la forme d'une série de courbes (les profils  $p$ ). Les courbes sont sensiblement continues et présentent des points très

20 éclairés et des points faiblement éclairés.

Chacune de ces courbes est numérisée dans les moyens électroniques 15, de façon connue en soi, au moyen d'un convertisseur analogique-numérique qui délivre les coordonnées image (ligne, colonne), d'une suite d'échantil-

25 lons représentatifs de chacune des courbes. Le brevet français 81.24418 décrit un mode préféré de réalisation permettant de réaliser cette numérisation, et par conséquent le convertisseur 15 ne sera pas décrit plus en détail ici.

30 Cependant, la Demanderesse a constaté que pour des raisons d'ordre technique et économique, l'objet ou le sujet à reproduire étant disposé sur un support rotatif, les coordonnées les plus facilement exploitables et les plus économiques du point de vue taille mémoire à utiliser

35 sont les coordonnées dites "cylindriques" ( $R$ ,  $H$ ,  $\theta$ ),  $R$

CFAO 16, 19 sont, dans le mode de réalisation préféré présentement décrit, constitués par un micro-ordinateur 21 réalisant les fonctions des moyens 17, 16 et 19 décrites plus loin et contrôlant, de surcroît, le convertisseur 15.

5 Le micro-ordinateur 21 est ici un ordinateur IBM, modèle commercialisé sous la référence AT3.

Enfin, la machine-outil 18 qui, ici, est du type NC-TRIAX-R6-2-TWIST, fabriquée par la Société italienne CMS, permet de sculpter dans un matériau tel que  
10 du bois, de la résine ou de l'aluminium, une forme reproduisant sensiblement celle du buste du sujet assis dans le siège 10' ou celle de l'objet à reproduire disposé sur la table 10.

En résumé, dans le mode de réalisation  
15 présentement décrit, le procédé traitant des données issues du convertisseur 15 comporte trois phases :

- une phase de passage des coordonnées image des points image enregistrés aux coordonnées cylindriques de leurs points source. C'est la fonction des moyens de  
20 transformation 17,

- une phase d'homogénéisation des points, (fonction du module 16),

- une phase de détermination de la normale à la surface et de correction de cette normale, pour déterminer  
25 la direction de l'outil (fonction du module 19).

Dans la description qui va suivre, on va décrire en détail chacune de ces trois phases. On commencera par expliquer tout d'abord la structure des données fournies par le système de vision constitué ici par les  
30 caméras, les faisceaux laser, les magnétoscopes et le convertisseur.

## 2. Structure des données en sortie du convertisseur 15

Chacune des 360 images enregistrées correspond  
35 à un profil source, caractérisé par l'angle  $\theta_n$  formé entre

oeuvre un fichier image FI dans lequel les coordonnées image des points constituant les divers profils sont stockées de la manière suivante :

- le fichier image contient séquentiellement les ordonnées des pixels du profil, sur une ligne considérée,
- chaque coordonnée est codée sur un mot de 16 bits.

Le code d'un point image se fait de la façon suivante :

TABLEAU I

|    | N° du bit     | Commentaire   |
|----|---------------|---|
| 15 | Bit 15        | 0 séparateur de profil<br>1 point du profil en cours                                  |
|    | Bit 14        | 0 pas de point dans la ligne en cours<br>1 présence d'un point dans la ligne en cours |
| 20 | Bit 13-Bit 10 | 0 ces bits ne servent pas   |
|    | Bits 9 - 0    | Position du pixel éclairé dans la ligne codée sur 10 bits                             |

A chaque profil image correspond un ensemble séquentiel de 316 mots. Les profils sont séparés par le mot: 0 0 0000 0000000000. Le numéro du profil en cours de lecture est inscrit dans un compteur.

Le tableau II ci-dessous illustre à propos du profil  $\theta_n$  la structure du fichier FI de la figure 4.

Ainsi, en lignes 2 et 310, aucun pixel n'est éclairé. En revanche, en lignes 5 et 312, des pixels respectivement 720 et 250 se trouvent situés dans les zones latérales b. Ces points sont dits "aberrants".

5 En effet, le système de vision utilisé est tel qu'il est possible que certains points de l'objet ou du sujet ne réfléchissent pas suffisamment la lumière laser et, même, au contraire l'absorbent. Ces points sont des points dits "de faible albédo". Dans un tel cas, la lumière  
10 réfléchie étant insuffisante, le pixel concerné ne se trouve pas éclairé. C'est pourquoi en lignes 2 et 310, dans l'exemple illustré en figure 4, aucun pixel ne se trouve éclairé.

En revanche, il est possible que certains  
15 pixels se trouvent éclairés, ces pixels ne correspondant pas à des points du sujet appartenant au profil éclairé : ce sont ici les points "aberrants" des lignes 5 et 312 (par exemple pour cause de reflet de la lumière laser dans les cheveux du sujet).

20 On décrit plus loin une caractéristique de l'invention permettant de reconstituer les points manquants et de détecter les points aberrants.

En définitive, on observera qu'en sortie du convertisseur 15 et en entrée des moyens de transformation  
25 17, on dispose d'un fichier récapitulant de façon séquentielle les coordonnées (Col, Lig,  $\theta$ ) d'ensembles de 316 points appartenant à 360 profils.

30 3. Reconstitution des coordonnées spatiales du point source de chacun des points image enregistrés

Le problème posé est celui de permettre le passage des coordonnées image d'un point (Col, Lig,  $\theta$ ) aux coordonnées spatiales de son point source, ces coordonnées spatiales étant en l'espèce choisies de type cylindrique  
35 (R, H,  $\theta$ ).

Le problème qui se pose donc ici est donc de déterminer les coefficients de transformation  $\alpha_i$  à appliquer aux coordonnées ligne-colonne de tous les points de l'espace susceptibles d'être filmés par les caméras 13a, 13b, pour obtenir les coordonnées cylindriques correspondantes pour chacun de ces points.

A cet effet, on procède à une étape de "calibration" de chacune des caméras 13a, b, in situ. C'est l'objet de la phase de calibration décrite ci-après au paragraphe 3.1.

Une fois ces coefficients de transformation déterminés comme il sera décrit ci-après, on peut procéder grâce aux équations indiquées sous (1) ci-dessus à la transformation proprement dite des coordonnées ligne-colonne des points délivrés par le convertisseur 15 pour chacun des systèmes de vision 13a, 13b. On génère ainsi deux fichiers dits "spatiaux" FSa et FSb (Cf. paragraphe 3.2. ci-après).

### 3.1. Phase de calibration

La méthode de base utilisée pour la calibration est la suivante :

On utilise une mire de calibration telle qu'illustrée en figure 6, comportant une plaque rectangulaire 41 de hauteur H et de largeur R dans l'exemple considéré  $R = H = 50$  cm) et d'épaisseur e (1 cm ici). La plaque 41 est munie de quatre piges constituées par des cylindres métalliques (référéncées A, B, C, D dans l'exemple) de rayon r et de hauteur h prédéterminés (dans l'exemple considéré  $r = 1$  mm et  $h = 2$  cm). On connaît la position spatiale des piges A - D et, notamment, leurs coordonnées  $(R_A, H_A)$ ,  $(R_B, H_B)$ ,  $(R_C, H_C)$  et  $(R_D, H_D)$ . Sur la figure 6, on a illustré l'axe des Z, le long duquel les coordonnées H sont mesurées et un axe R, perpendiculaire à l'axe des Z, le long duquel les coordonnées R peuvent être mesurées. On a également illustré, sur cette figure, les

réalisation choisi et représenté, on divise ainsi la plaque 53 de calibration en 25 carrés sur chacun des coins desquels une pige de calibration 51 est disposée. Chaque pige est caractérisée par ses coordonnées ligne - colonne 5- (i, j). Ainsi, la pige (i, j) est la pige de la ième ligne et de la jème colonne.

On met en place la mire de calibration 50 comme montré en figure 6. On a illustré sur la figure 7 un axe des Z et un axe R respectivement parallèles à deux côtés 10 perpendiculaires de la mire de calibration 51. En connaissant les coordonnées (R,H) des piges 51, on peut déterminer, pour chacun des barycentres 54 de chacun des carrés 52, les coefficients  $\alpha_i$  afférents au carré considéré, en appliquant les équations (1) ci-dessus. On affecte alors à 15 chacun des barycentres 54 les coefficients  $\alpha_i$  correspondants.

On considère ensuite les triangles  $T_k$  dont les sommets sont constitués par les barycentres 54 de carrés voisins. Ces triangles  $T_k$  sont illustrés en figure 7 en 20 traits mixtes. Les triangles  $T_k$  sont ici au nombre de 32 et sont numérotés (k variant de 1 à 32).

Pour assurer une continuité du modèle mathématique utilisé, il est considéré que les coefficients  $\alpha_i$  sont des polynomes de degré 1 en Col, Lig sur chacun des 25 triangles  $T_k$ . Ainsi, les coefficients  $\alpha_i$  sont de la forme :

$$(2) \quad \alpha_i = \beta_{i1} \text{Col} + \beta_{i2} \text{Lig} + \beta_{i3}$$

Pour chacun des triangles  $T_k$ , on connaît les coefficients  $\alpha_i$  permettant de déterminer les coordonnées R, H de chacun de ses sommets.

30 On dispose donc, pour chaque triangle  $T_k$ , et pour chaque  $\alpha_i$  afférent à un sommet, d'un système de trois équations à trois inconnues (les  $\beta_{ij}$ ) que l'on peut résoudre pour déterminer ces inconnues.

14a, 14'a, 14b, 14'b y ont été représentés de façon schématique. Sur cette figure, on a également représenté schématiquement les fonctions principales effectuées par le convertisseur 15 et les moyens de transformation 17.

5 Le convertisseur 15 comporte essentiellement des moyens de conversion analogique-numérique fonctionnant selon le principe décrit dans le brevet français 81.24418 cité plus haut. Ces moyens de conversion portent la  
10 référence 151. Les coordonnées (Col,Lig) pour chacun des points des profils image délivrées par chacune des caméras sont en fait enregistrées dans deux fichiers image F1a, F1b. Le fichier F1a est associé au système de vision  
15 comportant la caméra 13a, le magnétoscope 14a et le magnétoscope 14'a, tandis que le fichier F1b est associé au deuxième système de vision (caméra 13b, magnétoscopes  
14b et 14'b). Ainsi, seules les coordonnées des points en provenance de ce second système de vision sont enregistrées dans le fichier F1b, tandis que seules les coordonnées des  
20 points issus du premier système de vision sont enregistrées dans le fichier F1a.

Les moyens de transformation 17 comportent un fichier de transformation 171a (171b) associé à chacune des caméras 13a, 13b. Chaque fichier 171a (171b) contient un nombre d'enregistrements égal au nombre de triangles  $T_k$   
25 considéré (ici 32). Chaque enregistrement comporte :

- le numéro du triangle  $T_k$  considéré,
- les coordonnées de chacun des sommets de ce triangle (barycentres 54),
- les coefficients  $\beta_{ij}$  associés à ce triangle  
30 pour la caméra considérée 13a(13b) (obtenus lors de la calibration de ces caméras). Comme exposé plus haut, la calibration de chaque caméra est faite in situ préalablement à toute exploitation commerciale du procédé. Sur la figure 8, la calibration des caméras, permettant de constituer les  
35 fichiers 171a, 171b, est schématisée en  $C_a$  et  $C_b$ ).

fichier 171a les coordonnées du triangle  $T_k$ , ainsi que le jeu du coefficient  $\beta_{ij}$  associé au triangle  $T_k$  considéré.

En 185, on procède à un test d'appartenance pour déterminer si le point ayant pour coordonnées les variables intermédiaires  $(R_0, H_0)$  appartient ou non au triangle  $T_k$ . Pour ce faire, on fait des tests de comparaisons successives de coordonnées selon une méthode de recherche classique bien connue de l'homme de l'art qui sait, connaissant les coordonnées d'un point dans un plan déterminé, à quelle région de ce plan appartient ce point. Si le test 185 est négatif, on revient en 183 où l'on incrémente la variable  $k$ . Lorsque le test est positif, c'est-à-dire que l'on a déterminé le triangle  $T_k$  auquel appartient le point ayant les coordonnées intermédiaires  $(R_0, H_0)$ , on passe à une étape de transformation 186.

En 186, on affecte aux coordonnées  $(R, H)$  contenues en mémoire de nouvelles valeurs correspondant à la transformée des coordonnées  $(Col, Lig)$ , au moyen des équations (1) et (2) écrites plus haut, permettant de calculer à partir des coefficients  $\beta_{ij}$  lus en 184 les coordonnées  $(R, H)$  considérées.

En 187, on procède au test consistant à déterminer si les coordonnées  $(R, H)$  sont respectivement égales ou non aux coordonnées intermédiaires  $(R_0, H_0)$ . Dans la négative, on revient à l'étape 182 ; si le test 187 est positif, cela signifie que les coordonnées  $(R, H)$  en mémoire sont effectivement celles du point source du point image  $(Lig, Col)$  traité.

On inscrit ces coordonnées  $(R, H)$  dans le fichier spatial FSA.

En résumé, au cours de l'étape itérative de transformation, il est effectué les opérations suivantes :

- une opération de recherche au cours de laquelle on recherche la zone d'interpolation  $T_k$  à laquelle le point source appartient, ainsi que les coefficients



C'est à ce niveau du procédé qu'est solutionné le problème des points qui n'ont pu être filmés par les deux caméras (parties cachées) : les parties cachées pour une caméra ont pu être filmées par l'autre (voir figure 2).

- 5 En procédant à la fusion des fichiers FSA et FSb, on réalise un fichier unique FS dans lequel en théorie l'ensemble de la surface du buste est échantillonné (sous réserve des points manquants ou aberrants dans les deux fichiers pour les raisons mentionnées plus haut).

- 10 La fusion s'opère en utilisant l'un des fichiers, le fichier FSA, comme fichier pilote et en complétant les coordonnées manquantes dans ce fichier par celles existant éventuellement dans le fichier FSb.

#### 4. Homogénéisation des points d'un profil

- 15 Comme expliqué plus haut, à l'appui de la figure 4, chaque profil  $\theta_n$  peut :

- soit présenter des absences de points,
- soit comporter des points aberrants.

- 20 Le but de l'étape présentement décrite, qui est dite "d'homogénéisation", est d'éliminer les points aberrants et de reconstituer les coordonnées des points manquants. Cette étape comporte une opération dite "d'intégration", une opération de "filtrage" et une opération dite de "reconstitution".

##### 25 4.1 Opération d'intégration

- En figure 10, il est illustré cinq profils source ( $\theta_{n-2}$ ,  $\theta_{n-1}$ ,  $\theta_n$ ,  $\theta_{n+1}$ ,  $\theta_{n+2}$ ). On observe que ces profils concernent cinq positions successives du siège 10'. Ils ont été illustrés dans le référentiel associé au buste
- 30 20 ( $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z$ ).

Le profil source en cours de traitement est le profil  $\theta_n$ . Pour chacun des points traités :

$P_{i,n} = (R_i, H_i, \theta_n)$ , on effectue les opérations suivantes :

- on détermine tout d'abord les points voisins
- 35 du point  $(R_i, H_i, \theta_n)$  considéré. A cet égard, on considère

et que ces points aberrants risquent d'être disposés à une distance relativement importante du profil. Dans un tel cas, on choisira pour valeur E, une valeur de quelques centimètres, 3 cm par exemple.

5 En revanche, dans d'autres cas, les erreurs et les points aberrants seront peu nombreux et en tous cas relativement proches du profil. Dans un tel cas, on choisira comme valeur E, une valeur faible de l'ordre de quelques millimètres, 3 mm par exemple.

10 On observera en plus, selon une caractéristique de l'invention, que ladite valeur donnée E peut être paramétrable compte tenu du profil analysé. Ainsi, dans certaines zones du visage, telles que le nez, on choisira une valeur E relativement importante, puisque le profil est  
15 susceptible d'avoir d'importantes variations de sa coordonnée R, tandis que, pour les profils concernant la nuque, on choisira une valeur E relativement faible, puisque le profil n'a que des variations de sa coordonnée R de faible amplitude.

#### 20 4.3 Opération de reconstitution

Dans le cas où le point  $(R_i, H_i, \theta_n)$  "traité" est manquant (bit 14 à 0, Cf. tableau I), ou s'il est filtré, comme exposé ci-dessus, on effectue l'opération dite de reconstitution au cours de laquelle on affecte au  
25 point  $(R_i, H_i, \theta_n)$ , les valeurs moyennes calculées  $\bar{R}$ ,  $\bar{H}$ , lors de l'étape d'initialisation.

La figure 5 est une vue correspondant à la figure 4, dans laquelle les points représentés sont les  
30 points source en coordonnées cylindriques, et dans laquelle les points aberrants et manquants ont été reconstitués, comme exposé ci-dessus (points  $P_r$ ).

Le fichier FS est complété au fur et à mesure du traitement des points  $(R_i, H_i, \theta_n)$  par les coordonnées  
35 de tous les points  $P_r$  reconstitués.

On notera que l'étape d'homogénéisation d'un

Pour ce faire, le robot doit être capable de déterminer non seulement la position de la fraise selon les trois coordonnées cylindriques, mais en plus la direction générale de l'arbre (deux degrés de liberté supplémentaires).

L'arbre porte-outil sera orienté selon une direction dite normale à la surface si deux conditions se trouvent réunies :

- d'une part, il faut que la projection de l'arbre dans le plan  $\theta_n$  auquel appartient le point traité:  $P_{i,n} : (R_i, H_i, \theta_n)$  soit normale au profil auquel appartient ce point,

- et, d'autre part, que la projection de l'arbre dans un plan perpendiculaire sécant  $S_i$ , passant par le point traité  $P_{i,n}$  soit également normale à la trace de la surface à reproduire dans ce plan sécant. Dans la suite, on appellera "trace sécante" la trace laissée dans le plan  $S_i$  par la surface à reproduire.

En figure 11, on a illustré sous la référence  $\overrightarrow{DN_{\theta_n,i}}$  la projection dans le plan  $\theta_n$  de la normale à la surface au point  $P_{i,n}$ , tandis qu'en figure 15, on a représenté sous la référence  $\overrightarrow{SN_{\theta_n,i}}$  la projection de la normale à cette surface au point  $P_{i,n}$  dans le plan  $S_i$ .

Ainsi, en plus des trois degrés de liberté nécessaires pour commander la position de l'axe de l'outil, le robot qui commande cette position, ainsi que la position de l'arbre, doit être capable de maîtriser deux degrés de liberté supplémentaires. Les deux coordonnées supplémentaires que le robot doit maîtriser sont des rotations. L'une autour de l'axe des Z (perpendiculaire au plan  $S_i$ ), l'autre autour d'un axe perpendiculaire à l'axe des Z, l'axe Y en l'espèce.

Le robot et l'outil utilisés sont ici du type NC-TRIAX-R6-2-TWIST, fabriqué par la Société italienne CMS.

$$\begin{aligned}
 \vec{N}_1 &= \vec{P_t P_2} \wedge \vec{P_t P_4} \\
 \vec{N}_2 &= \vec{P_t P_4} \wedge \vec{P_t P_3} \\
 \vec{N}_3 &= \vec{P_t P_3} \wedge \vec{P_t P_5} \\
 \vec{N}_4 &= \vec{P_t P_5} \wedge \vec{P_t P_2}
 \end{aligned}$$

On norme les vecteurs  $\vec{N}_1 - \vec{N}_4$ , ce qui donne les

$$\vec{NM}_1 - \vec{NM}_4 \quad (\vec{NM}_i = \frac{\vec{N}_i}{||N_i||})$$

On calcule la somme des quatre vecteurs normés:

$$\vec{NM}_1 + \vec{NM}_2 + \vec{NM}_3 + \vec{NM}_4$$

ce qui permet d'obtenir un vecteur de direction moyenne aux quatre vecteurs normés précédents. La direction du vecteur résultant est considérée comme étant la "normale" à la surface au point en cours de traitement  $P_{i,n}$ .

Le vecteur résultant est ensuite normé, ce qui donne le vecteur  $\vec{N}_{\theta_n, i}$ .

Le traitement ci-dessus s'effectue pour chacun des points  $(R_i, H_i, \theta_n)$  du fichier FS.

On crée un fichier FN comportant, pour chacun des points  $P_{i,n}$ , les coordonnées du vecteur associé  $\vec{N}_{\theta_n, i}$ .

### 5.2 Détermination des parties concaves dans $\theta_n$ et calcul de la projection de la normale rectifiée dans ce plan

On considère les vecteurs et les coordonnées suivants :

-  $\vec{DN}_{\theta_n, i}$  : projection normée de  $\vec{N}_{\theta_n, i}$  dans le plan  $\theta_n$ ,

-  $RN_i$  et  $HN_i$  : les composantes de ce vecteur dans le plan  $\theta_n$  (figure 11).

On considère les deux points voisins de  $(R_i, H_i, \theta_n)$  respectivement  $(R_{i-1}, H_{i-1}, \theta_n)$  et  $(R_{i+1}, H_{i+1}, \theta_n)$  sur le profil  $\theta_n$  et la projection normée  $\vec{DN}_{\theta_n, i-1}$  et  $\vec{DN}_{\theta_n, i+1}$  associée à ces points.

on modifie, dans le fichier FS, les valeurs des vecteurs  $\overrightarrow{ED_{\theta_n, i}}$ .

5 Ce processus est recommencé un nombre prédéterminé de fois (trois dans cet exemple). En réalité, la direction  $\overrightarrow{ED_{\theta_n, i}}$ , estimée au point considéré après trois  
10 itérations, est telle que le risque de collision ultime mentionné plus haut, dû à la concavité du méridien au point considéré, est minimisé.

### 5.3 Détermination des parties concaves dans $S_i$ et calcul de la projection de la normale rectifiée dans ce plan

15 On rappelle tout d'abord que le plan  $S_i$  est un plan perpendiculaire aux divers plans  $\theta_n$  et interceptant l'axe des Z au niveau de la coordonnée  $H_i$ , figures 14 et 15. Ce plan est parallèle au plan XY illustré en figure 3.

20 On considère également la trace sécante laissée par la surface du buste 20 dans le plan  $S_i$  :  $S_i$  désignant donc soit le plan, soit la trace sécante.

On considère les vecteurs et les coordonnées suivantes :

- 25 -  $\overrightarrow{SN_{\theta_n, i}}$  : projection normée de  $\overrightarrow{N_{\theta_n, i}}$  dans le plan  $S_i$ ,  
-  $RS_i$  et  $YS_i$  les composantes de ce vecteur dans  
30 le plan  $S_i$ .

On considère un point traité  $(R_i, H_i, \theta_n)$ . On considère les deux points voisins de ce point respectivement  $(R_i, H_i, \theta_{n-1})$  et  $(R_i, H_i, \theta_{n+1})$  sur la trace sécante  
35  $S_i$  et la projection normée  $\overrightarrow{SN_{\theta_{n-1}, i}}$  et  $\overrightarrow{SN_{\theta_{n+1}, i}}$  associée à ces points.

On calcule le produit vectoriel suivant :

$$\overrightarrow{SN_{\theta_{n-1}, i}} \wedge \overrightarrow{SN_{\theta_{n+1}, i}}$$

40 ce qui permet d'obtenir un coefficient  $QS_i$  associé au point en traitement  $R_i, H_i, \theta_n$  :

$$QS_i = (RS_{i-1} * YS_{i+1}) - (RS_{i+1} * YS_{i-1}) \quad (4.1)$$

Si le coefficient  $QS_i$  est positif, cela

pour chaque point  $P_{i,n}$  :

- les trois coordonnées du point  $P_{i,n}$  ( $R_i$ ,  $H_i$ ,  $\theta_n$ ),
- les deux coordonnées dans le plan  $\theta_n$  du vecteur  $\overrightarrow{DN_{\theta_n,i}}$  ou du vecteur rectifié  $\overrightarrow{ED_{\theta_n,i}}$ . Ces deux coordonnées définissent la direction de l'outil dans le plan  $\theta_n$ .
- les deux coordonnées dans le plan  $S_i$  du vecteur  $\overrightarrow{SN_{\theta_n,i}}$  ou du vecteur rectifié  $\overrightarrow{ES_{\theta_n,i}}$ . Ces deux coordonnées définissent la direction de l'outil dans le plan  $S_i$ .

Ce fichier est alors transféré dans la machine-outil 18.

La machine-outil 18 sera donc pilotée à partir des trois coordonnées ( $R_i$ ,  $H_i$ ,  $\theta_n$ ) et des deux directions susmentionnées. Il est à noter que la machine-outil CMS utilisée ici est tout à fait adaptée pour être pilotée de façon automatique dès lors que les coordonnées ci-dessus lui sont délivrées sous un format équivalent et approprié bien connu de l'homme de l'art, notamment celui familier des post-processeurs.

Grâce à ces caractéristiques, l'outil attaquera la matière selon l'angle le plus favorable tout en évitant, ou, à tout le moins, en minimisant les risques de collisions porte-outil - matière mentionnés plus haut.

Il faut toutefois observer que dans certains cas (rares) de forte concavité, les coefficients  $QD_i$  et  $QS_i$  calculés après trois itérations ne seront pas positifs, et que dans de tels cas, une collision outil-matière est susceptible de se produire. La Demanderesse a constaté que ces cas sont rares, et, en pratique, s'agissant de vidéo sculpture d'un visage, inexistantes. Cependant, pour la reproduction de volumes très tourmentés, il est possible de prévoir une alarme avec intervention manuelle permettant de corriger la direction de l'arbre porte-outil en cas de très

REVENDICATIONS

1. Procédé de détermination des coordonnées spatiales de chacun des points d'un ensemble de points source appartenant à une surface comportant une étape d'acquisition de données dans laquelle on éclaire, avec un faisceau plan de lumière, la surface, on enregistre avec au moins une caméra (13a, 13b) au moins une image de la trace  $(P, p, \theta_n)$  laissée par le faisceau plan sur la surface (20), la trace laissée par le faisceau plan de lumière sur la surface étant dite "profil source", l'image de cette trace dans un plan image de la caméra étant dite "profil image", on déplace relativement le faisceau plan et la surface et on enregistre avec ladite caméra à nouveau au moins une image de la trace laissée par le faisceau plan sur la surface, on recommence les opérations de déplacement relatif, d'éclairage et d'enregistrement en sorte que l'on enregistre ainsi une pluralité de profils image constituant un échantillonnage de l'image de l'ensemble de la surface, le procédé comportant une étape de traitement au cours de laquelle, notamment, on considère les coordonnées lignes-colonne  $(Col, Lig)$  d'un ensemble de points image échantillonnant chaque profil image dans le plan image de ladite caméra, procédé caractérisé en ce que, mettant en oeuvre les considérations suivant lesquelles :
- dans le plan du faisceau lumineux, on choisit un axe directeur  $(Z)$  et on affecte des coordonnées dites "spatiales"  $(R, H)$  à chaque point dudit plan,  $R$  étant la distance entre le point considéré et l'axe directeur,  $H$  étant l'ordonnée de ce point sur cet axe :
  - on prend en compte les formules suivantes de transformation des coordonnées  $(Col, Lig)$  de chacun des points du plan image de la caméra en coordonnées spatiales  $(R, H)$  du point source correspondant :

5                   . on détermine ainsi vingt-quatre coefficients d'interpolation ( $\beta_{ij}$ ) par zone triangulaire d'interpolation ( $T_k$ ) en résolvant la formule d'interpolation (2) pour chacun des coefficients de transformation ( $\alpha_j$ ) affecté à un sommet de zone triangulaire d'interpolation ( $T_k$ ) ;

ce procédé consiste en outre, dans ladite phase de traitement, pour déterminer les coordonnées spatiales  
10 (R, H) d'un point source dont on connaît les coordonnées images (Col,Lig) de son image, à effectuer les opérations suivantes :

- rechercher, dans une opération de recherche, la zone d'interpolation ( $T_k$ ) à laquelle le point appartient, ainsi que les coefficients d'interpolation ( $\beta_{ij}$ )  
15 associés à cette zone,
- calculer, dans une opération de calcul, les coordonnées spatiales (R, H) par application concomitante desdites formules de transformation (1) et d'interpolation  
20 (2).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites opérations de recherche et de calcul comportent les étapes suivantes, pour chaque point image traité :

- une première étape d'initialisation (181), au  
25 cours de laquelle on attribue et on met en mémoire des valeurs arbitraires (0, 0) aux variables (R, H) que l'on cherche à déterminer connaissant les coordonnées images (Col,Lig) du point traité ( $P_{i,n}$ ).
- une seconde étape d'initialisation (182), au  
30 cours de laquelle on initialise deux variables intermédiaires ( $R_0$ ,  $H_0$ ) en mettant ces valeurs intermédiaires égales à la dernière valeur connue des variables (R, H), on met à zéro une variable k correspondant au numéro de la  
35 zone d'interpolation ( $T_k$ ),



dans un plan image de la caméra étant dite "profil image", on déplace relativement le faisceau plan et la surface et on enregistre avec ladite caméra à nouveau au moins une image de la trace laissée par le faisceau plan sur la surface, on recommence les opérations de déplacement relatif, d'éclairage et d'enregistrement en sorte que l'on enregistre ainsi une pluralité de profils image constituant un échantillonnage de l'image de l'ensemble de la surface, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte une étape de traitement au cours de laquelle, notamment, on considère les coordonnées lignes-colonne (Col, Lig) d'un ensemble de points image échantillonnant chaque profil image dans le plan image de ladite caméra et les coordonnées spatiales des points source correspondant à chacun des points du plan image, cette étape de traitement comportant une phase d'homogénéisation au cours de laquelle, pour chacun des points traités ( $P_{i,n}$ ), on considère un nombre prédéterminé de points voisins, on calcule les coordonnées moyennes de ces points, et si le point traité est absent, ou si l'une au moins de ses coordonnées diffère de la coordonnée moyenne correspondante d'un écart supérieur à une valeur prédéterminée ( $E$ ), on affecte au point traité lesdites coordonnées moyennes.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'au cours de la phase d'homogénéisation, pour chaque point source traité, dont on a déterminé les coordonnées spatiales ( $R_i, H_i, \theta_n$ ), on effectue les opérations suivantes :

- on détermine les points voisins du point ( $R_i, H_i, \theta_n$ ) considéré ; on considère les  $2p+1$  profils source allant de  $\theta_{n-p}$  à  $\theta_{n+p}$ ,
- sur chaque profil source  $\theta_j$  ainsi considéré, on sélectionne les  $2k+1$  points allant de ( $R_{i-k}, H_{i-k}, \theta_j$ ) à ( $R_{i+k}, H_{i+k}, \theta_j$ ),
- on calcule la moyenne  $\bar{R}$  et la moyenne  $\bar{H}$  des

- on détermine les points voisins du point  $(R_i, H_i, \theta_n)$  considéré ; on considère les  $2p+1$  profils source allant de  $\theta_{n-p}$  à  $\theta_{n+p}$ ,

- sur chaque profil source  $\theta_j$  ainsi considéré,  
5 on sélectionne les  $2k+1$  points allant de  $(R_{i-k}, H_{i-k}, \theta_j)$  à  $(R_{i+k}, H_{i+k}, \theta_j)$ ,

- on calcule la moyenne  $\bar{R}$  et la moyenne  $\bar{H}$  des coordonnées  $(R, H)$  de chacun des points,

10 - si le point "traité" existe effectivement, on effectue une opération de filtrage au cours de laquelle pour chacun des points traités, on calcule une valeur absolue  $|R_i - \bar{R}|$  ; si cette valeur est supérieure à une  
15 valeur d'erreur donnée  $E$ , paramétrable, on élimine ledit point traité  $(R_i, H_i, \theta_n)$ ,

- si le point  $(R_i, H_i, \theta_n)$  "traité" n'existe pas ou s'il est éliminé, on effectue une opération dite de reconstitution au cours de laquelle on affecte au point  
20  $(R_i, H_i, \theta_n)$ , les valeurs moyennes calculées  $(\bar{R}, \bar{H})$ .

8. Procédé de réalisation d'une image tridimensionnelle d'une surface tridimensionnelle mettant en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7  
25 appliqué à la détermination des coordonnées spatiales d'un ensemble de points appartenant à ladite surface, caractérisé en outre en ce qu'il met en oeuvre une machine-outil adaptée à commander un outil selon cinq degrés de liberté, à savoir trois degrés de liberté permettant le positionnement de cet outil dans l'espace, compte tenu desdites  
30 coordonnées spatiales et deux degrés de liberté déterminant un angle d'attaque de l'outil.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit angle d'attaque est tel que l'outil  
35 est généralement dirigé selon la normale à la surface image devant être réalisée et en ce que l'on procède à une détection des parties concaves de la surface pour corriger l'angle d'attaque de l'outil pour éviter autant que

sidéré, lorsque le coefficient de convexité (QD) considéré est positif, soit le vecteur somme, lorsque le coefficient de convexité (QD) est négatif,

5 . lorsque l'ensemble des points appartenant à un même profil est traité, on recommence un nombre prédéterminé de fois le traitement du profil en utilisant les vecteurs  
10 effectivement associés ( $\overrightarrow{DN}_{en,i}$ ,  $\overrightarrow{ED}_{en,i}$ ) au point traité ( $R_i, H_i, \theta_n$ ).

- on procède à un traitement analogue pour chacune des traces sécantes ( $S_i$ ) et on associe à  
15 chacun des points traités ( $R_i, H_i, \theta_n$ ) un vecteur correspondant soit à la normale à ladite trace sécante  $S_i$  au point traité ( $\overrightarrow{SN}_{en,i}$ ), soit à un vecteur somme,  
20 ( $\overrightarrow{ES}_{en,i}$ ) des vecteurs effectivement associés aux points voisins ( $R_i, H_i, \theta_{n-1}$ ) ( $R_i, H_i, \theta_{n+1}$ ) au point traité ( $R_i, H_i, \theta_n$ ).

et pour chaque point, on dirige l'outil selon la direction  
25 des vecteurs effectivement associés audit point, dans le plan de son profil ( $\theta_n$ ) et dans celui de la trace sécante ( $S_i$ ) à laquelle il appartient.

11. Procédé de réalisation d'une image tridimensionnelle d'une surface tridimensionnelle dont on  
30 connaît les coordonnées spatiales d'un nombre prédéterminé de points ( $R_i, H_i, \theta_n$ ) échantillonnant cette surface, caractérisé en ce qu'il met en oeuvre une machine-outil (18) adaptée à commander un outil selon cinq degrés de liberté, à savoir trois degrés de liberté permettant le  
35 positionnement de cet outil dans l'espace, compte tenu desdites coordonnées spatiales et deux degrés de liberté déterminant un angle d'attaque de l'outil de telle sorte que l'outil soit généralement dirigé selon la normale à la surface devant être réalisée et en ce que l'on procède à  
40 une détection des parties concaves de la surface, pour

somme, lorsque le coefficient de convexité (QD) est négatif,

- lorsque l'ensemble des points appartenant à un même profil est traité, on recommence un nombre prédéterminé de fois le traitement du profil en utilisant les vecteurs effectivement associés  $(\overrightarrow{DN}_{\theta_n,i}, \overrightarrow{ED}_{\theta_n,i})$  au point traité  $(R_i, H_i, \theta_n)$ .

- on procède à un traitement analogue pour chacune des traces sécantes  $(S_i)$  et on associe à chacun des points traités  $(R_i, H_i, \theta_n)$  un vecteur correspondant soit à la normale à ladite trace sécante  $S_i$  au point traité  $\overrightarrow{SN}_{\theta_n,i}$ , soit à un vecteur somme,  $(\overrightarrow{ES}_{\theta_n,i})$  des vecteurs effectivement associés  $(\overrightarrow{ES}, \overrightarrow{SN})$  aux points voisins  $(R_i, H_i, \theta_{n-1})$   $(R_i, H_i, \theta_{n+1})$  au point traité  $(R_i, H_i, \theta_n)$ .
- et, pour chaque point, on dirige l'outil selon la direction des vecteurs effectivement associés audit point, dans le plan de son profil  $(\theta_n)$  et dans celui de la trace sécante  $(S_i)$  à laquelle il appartient.

FIG. 2

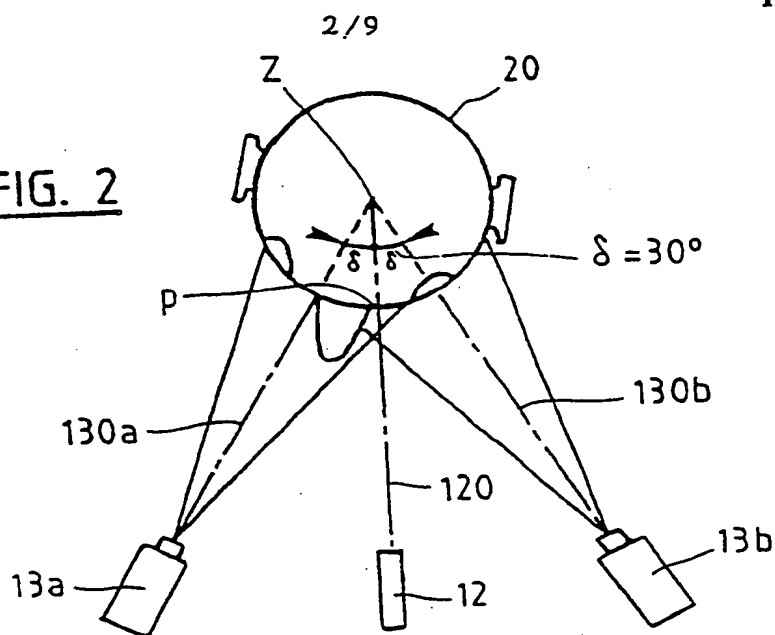


FIG. 2a

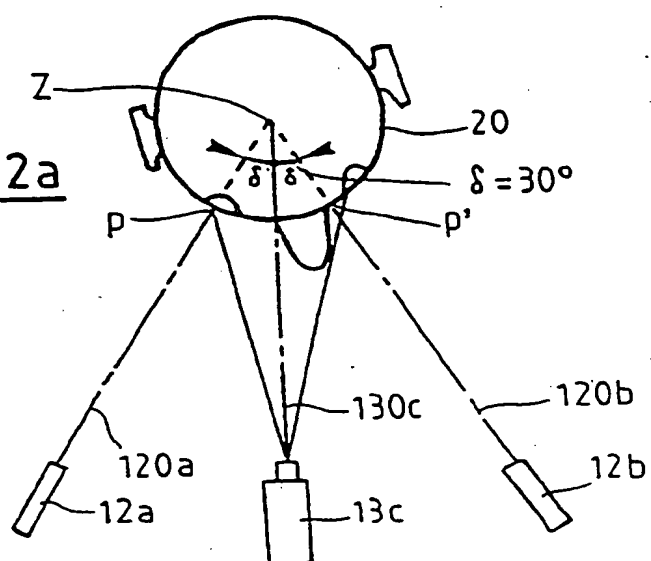
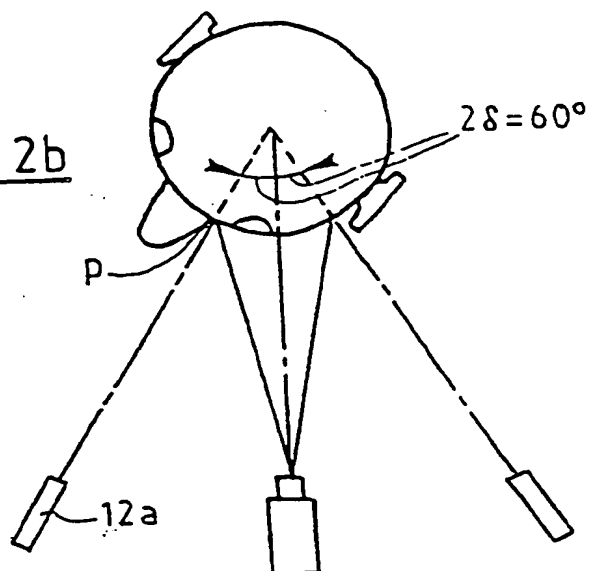
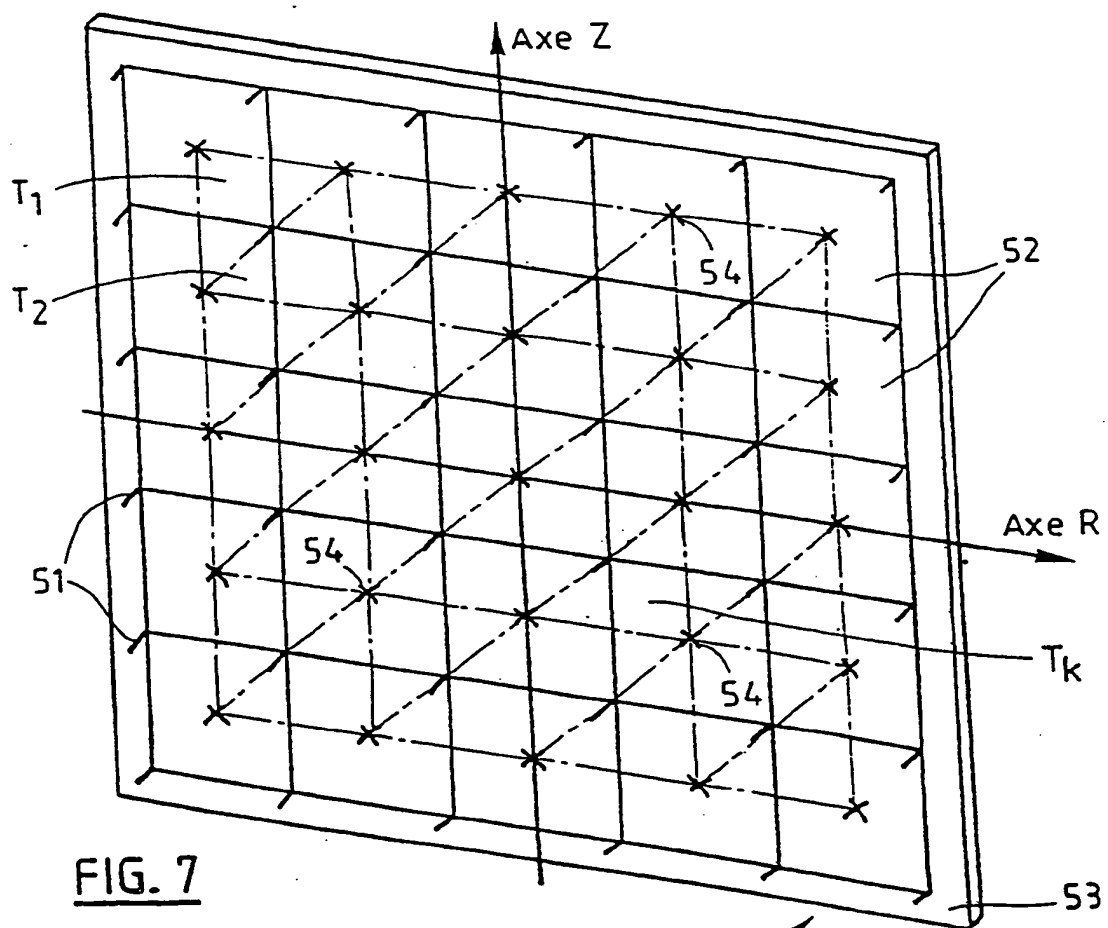
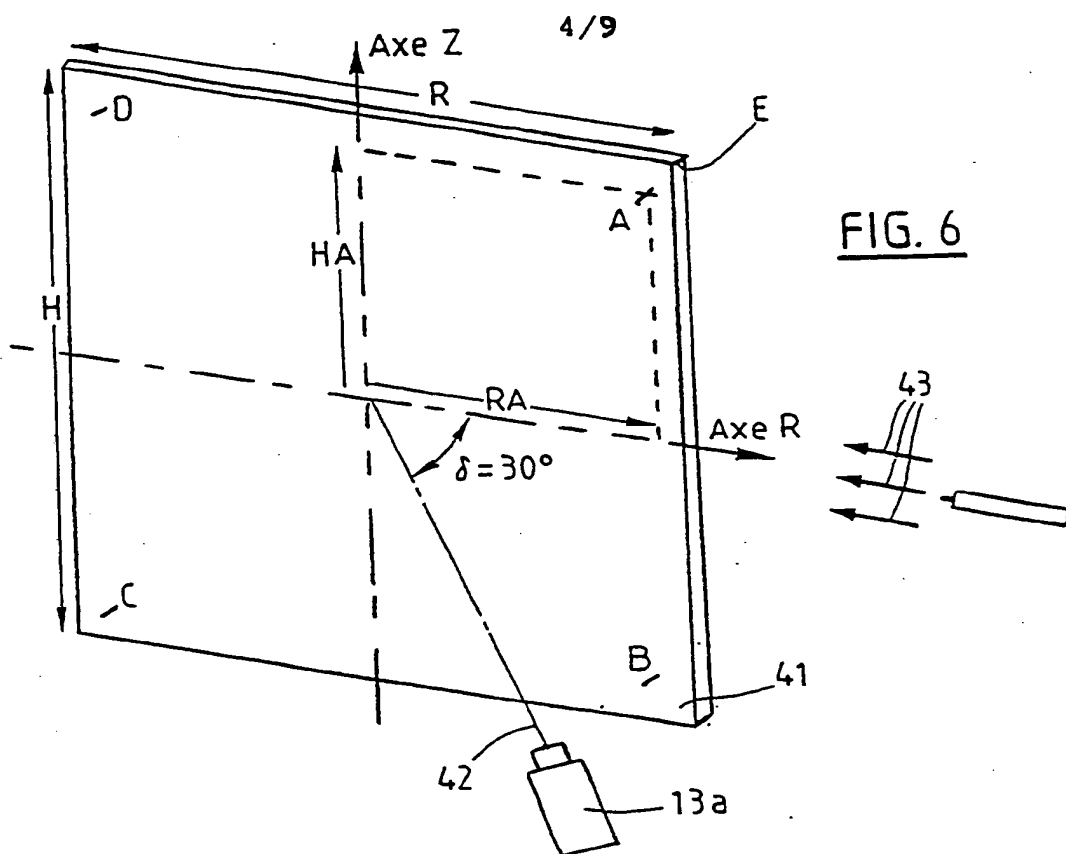


FIG. 2b





6/9

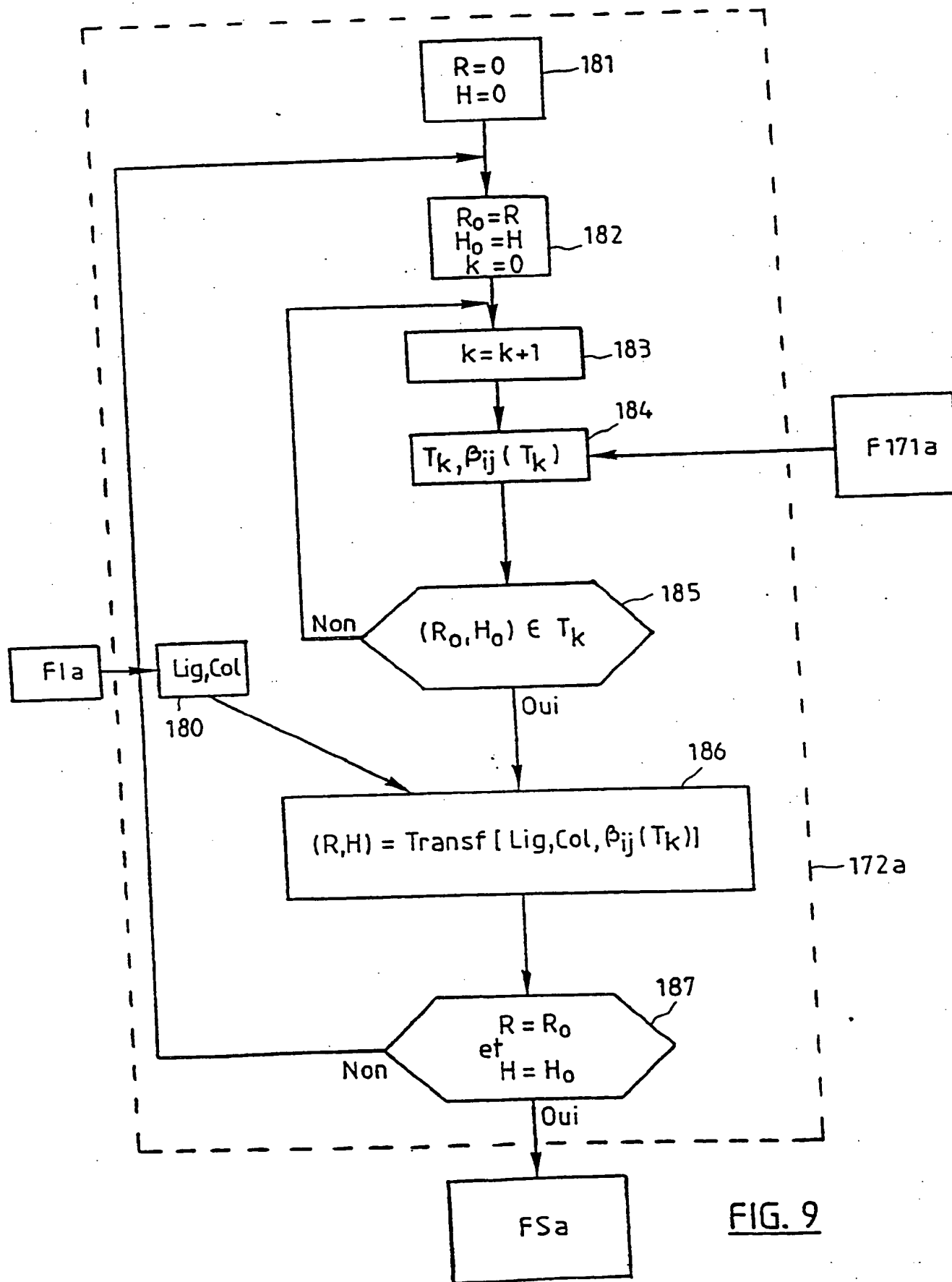


FIG. 9

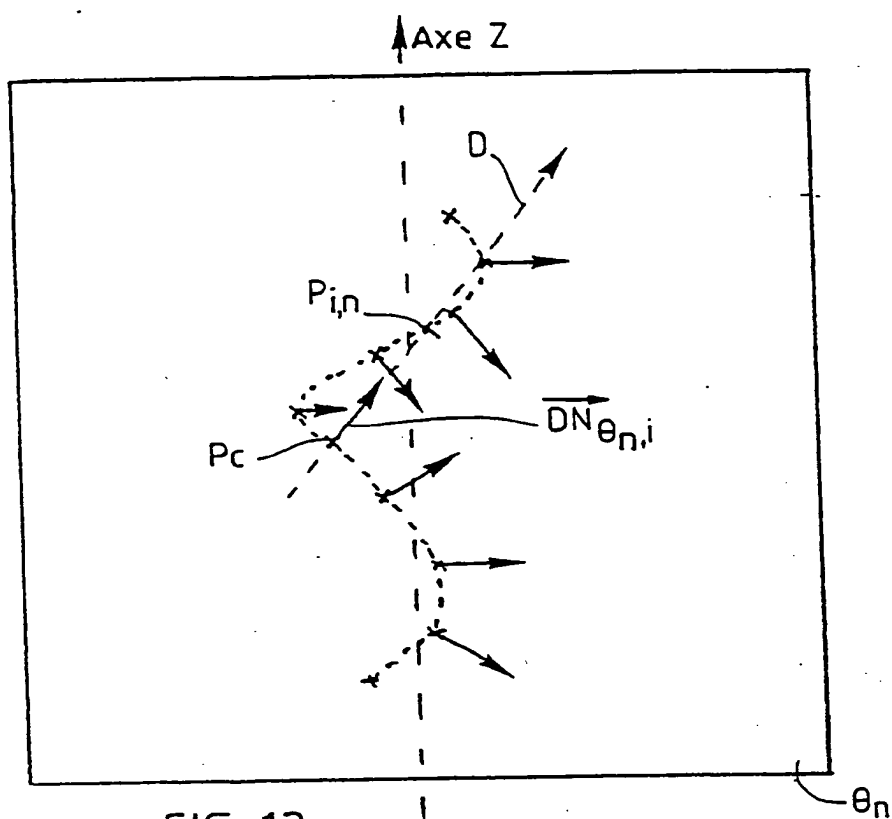


FIG. 12

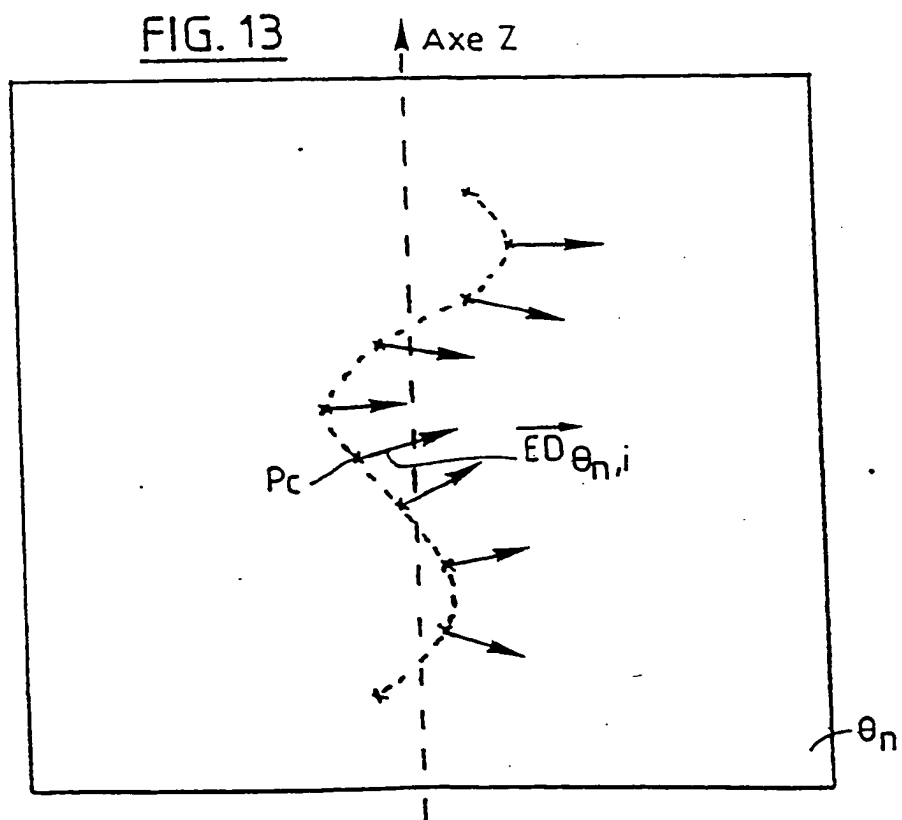


FIG. 13



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/FR 89/00143

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> (If several classification symbols apply, indicate all) *   |  |   |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC<br>G 01 B 11/00, G 01 B 11/24, G 05 B 19/42, G 05 B 19/403,<br>Int.Cl. <sup>4</sup> : B 23 Q 35/128  |  |   |
| <b>II. FIELDS SEARCHED</b>   |  |   |
| Minimum Documentation Searched *   |  |   |
| Classification System : <span style="float: right;">Classification Symbols</span>  |  |   |
| Int.Cl. <sup>4</sup> :   | G 01 B, G 05 B, G 06 F, B 23 Q   |   |
| Documentation Searched other than Minimum Documentation<br>to the Extent that such Documents are included in the Fields Searched *   |  |   |
|  |  |   |
| <b>III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT*</b>   |  |   |
| Category *   | Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup>   | Relevant to Claim No. <sup>13</sup>                 |
| X,Y  | WO, A, 87/01194 (D.A. ADDLEMAN) 26 February 1987,<br>see figures 1-7; title; page 4, paragraph 2 - page<br>6, paragraph 5<br>--  | 1,5   |
| X,Y  | US, A, 4294544 (B.R. ALTSCHULER) 13 October 1981,<br>see figures 1,2,3 8a-8d; title; column 6, line 1 -<br>column 8, line 32; column 13, line 15 - column 18,<br>line 38<br>-- | 1   |
| X  | WO, A, 80/02591 (P. DEISLER) 27 November 1980, see<br>figures 1-9; title; page 5, line 11 - page 18, line 30<br>--   | 1   |
| A  | WO, A, 87/ 06353 (VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS)<br>22 October 1987, see title; figures 1-5; page 4, line<br>25 - page 13, line 39<br>--                                  | 1,3   |
| A  | DE, A, 3101226 (J.M. RÖHRICH) 2 September 1982, see<br>figures; see the whole document<br>--   | 8-11  |
| ./.  |  |   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Special categories of cited documents: <sup>10</sup></p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"G" document member of the same patent family</p> </div> </div> |  |   |
| <b>IV. CERTIFICATION</b>   |  |   |
| Date of the Actual Completion of the International Search  |  | Date of Mailing of this International Search Report |
| 10 July 1989 (10.07.89)  |  | 3 August 1989 (03.08.89)                            |
| International Searching Authority  |  | Signature of Authorized Officer                     |
| European Patent Office   |  |   |

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

FR 8900143  
SA 27952

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 28/07/89  
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s)  | Publication<br>date                          |
|---|---------------------|---|--|
| WO-A- 8701194                             | 26-02-87            | US-A- 4705401<br>US-A- 4737032<br>EP-A- 0233920<br>JP-T- 63501526 | 10-11-87<br>12-04-88<br>02-09-87<br>09-06-88 |
| US-A- 4294544                             | 13-10-81            | None  |  |
| WO-A- 8002591                             | 27-11-80            | DE-A- 2920634<br>EP-A- 0029036                                    | 27-05-81<br>27-05-81                         |
| WO-A- 8706353                             | 22-10-87            | EP-A- 0301019<br>JP-T- 63503092                                   | 01-02-89<br>10-11-88                         |
| DE-A- 3101226                             | 02-09-82            | None  |  |
| EP-A- 0157299                             | 09-10-85            | JP-A- 60200111<br>DE-A- 3566160                                   | 09-10-85<br>15-12-88                         |
| US-A- 4498778                             | 12-02-85            | JP-A- 59112211<br>US-A- 4628469                                   | 28-06-84<br>09-12-86                         |

| III. DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                  |  |                              |
|---|--|------------------------------|
| (SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDICUÉS SUR LA DEUXIÈME FEUILLE) |  |                              |
| Catégorie *   | Identification des documents cités, avec indication, si nécessaire, des passages pertinents  | N° des revendications visées |
| A   | DE, A, 3101226 (J.M. RÖHRICH) 2 septembre 1982, voir figures; le document en entier<br>--  | 8-11                         |
| A   | Proceedings IECON '85, 1985 International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 18-22 novembre 1985, San Francisco, 'Industrial Applications of Mini, Micro & Personal Computers', vol. 1, IEEE, J. Mochizuki et al.: "Unpositioned workpieces handling robot with visual and force sensors", pages 299-302, voir pages 299-302<br>-- | 3                            |
| A   | EP, A, 0157299 (HITACHI LTD) 9 octobre 1985, voir figures 1-12; page 4, ligne 17 - page 16, ligne 21<br>--   | 1                            |
| A   | US, A, 4498778 (S.J. WHITE) 12 février 1985, voir figures 1-13; colonne 4, ligne 32 - colonne 13, ligne 42<br>-----  | 1                            |

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ ~~BLACK BORDERS~~

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**